



Proposition d'architectures pour les futurs réseaux locaux sans fil à 60 GHz basée sur l'étude de la propagation radioélectrique

Sylvain Collonge, Gheorghe Zaharia, Ghais El Zein

► To cite this version:

Sylvain Collonge, Gheorghe Zaharia, Ghais El Zein. Proposition d'architectures pour les futurs réseaux locaux sans fil à 60 GHz basée sur l'étude de la propagation radioélectrique. Les Nouvelles Technologies dans la Cité, Dec 2003, Rennes, France. pp.57-67. hal-00903284

HAL Id: hal-00903284

<https://hal.science/hal-00903284>

Submitted on 13 Nov 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Proposition d'architectures pour les futurs réseaux locaux sans fil à 60 GHz basée sur l'étude de la propagation radioélectrique

Sylvain Collonge, Gheorghe Zaharia, Ghaïs El Zein*

* IETR, UMR CNRS 6164

INSA 20, avenue des Buttes de Coësmes

35043 - Rennes Cedex

tél. : 02 23 23 86 04/85 89

mail : sylvain.collonge@insa-rennes.fr

gheorghe.zaharia@insa-rennes.fr

ghais.el-zein@insa-rennes.fr

RÉSUMÉ. La bande de fréquence autour de 60 GHz semble être très prometteuse pour les futurs services multimédia sans fil. Cet intérêt peut s'expliquer par la possibilité de disposer de très larges bandes de fréquence, et par une meilleure réutilisation des fréquences dans un même bâtiment, grâce aux fortes pertes de puissance et à la présence d'éventuels obstacles (murs, cloisons, ...). En France, le projet national de recherche (RNRT) COMMINDOR, a porté sur l'étude de nouveaux systèmes de communication haut débit (155 Mbit/s) pour les environnements résidentiels. Cette étude a nécessité la caractérisation du canal de propagation à 60 GHz. À partir des résultats obtenus, cet article souligne les difficultés rencontrées pour assurer des liaisons haut débit, de bonne qualité, et propose plusieurs architectures de réseaux permettant de pallier ces difficultés. Ces architectures reposent sur l'utilisation d'une diversité angulaire et/ou de site.

MOTS-CLÉS : Réseaux locaux sans fil, WLAN, réseaux haut débit, propagation radioélectrique, 60 GHz, architecture de réseau

1. Introduction

Jusqu'à présent, la plupart des échanges de données à haut débit se font sur des liaisons câblées. Un des défis actuels pour le domaine des télécommunications est de réaliser des réseaux locaux sans fil à très haut débit (>100 Mbit/s). Ces applications sont souvent évoquées comme faisant partie des systèmes dits de 4^{ème} génération [FLAMENT et al. 98] voire de 5^{ème} génération [OHMORI et al. 2000].

La suppression du lien physique (câble) entre des appareils reliés en réseau allège le déploiement du réseau et améliore la mobilité de ces appareils, ce qui présente une souplesse certaine pour l'utilisateur. Ces avantages sont en revanche accompagnés des difficultés liées à la propagation hertzienne dans un environnement présentant des obstacles divers.

Les systèmes de transmission à haut débit utilisent de larges bandes de fréquences, d'où la nécessité d'une exploration de fréquences toujours plus élevées dans le spectre radioélectrique, du fait de la congestion progressive des bandes de fréquences plus basses.

Depuis plusieurs années, les ondes millimétriques ont été repérées pour ces futurs réseaux sans fil très haut débit [MEINEL 95, TAKIMOTO 95]. À ces fréquences, les pertes de puissance en fonction de la distance sont particulièrement fortes, conséquence intéressante en terme de réutilisation des fréquences pour la mise en œuvre de réseaux locaux sans fil (WLAN) à l'intérieur des bâtiments. Par ailleurs, les courtes longueurs d'onde permettent d'envisager des systèmes très compacts et qui pourront donc s'intégrer avec discrétion dans l'environnement. Il s'agit là également d'un avantage pour l'utilisateur..

En particulier, la bande de fréquence autour de 60 GHz a donné lieu à des études plus approfondies, principalement dans le cadre d'applications en environnement professionnel. Mais avec la large diffusion des télécommunications auprès du grand public lors de ces dernières années, il est désormais envisageable de s'intéresser à des applications domestiques de type WLAN haut débit. Dans cette perspective, un projet RNRT¹ intitulé COMMINDOR² [COMMINDOR 99] s'est intéressé à l'étude de systèmes de radiocommunications très haut débit (155 Mbit/s) à 60 GHz pour de futurs réseaux domestiques permettant l'interconnexion et le contrôle d'équipements multimédia grand public.

Dans le cadre de ce projet, l'I.E.T.R. a étudié la caractérisation de la propagation radioélectrique à 60 GHz en environnement résidentiel [COLLONGE et al. 2003]. Du point de vue de la propagation des ondes, ce type d'environnement est caractérisé par des distances en visibilité excédant rarement 10 m, par des matériaux de construction et un mobilier spécifiques et variés, et par une activité humaine particulière. Par ailleurs, les réseaux déployés en environnement résidentiel devront être pensés en tenant compte de contraintes d'ergonomie, de coût et de simplicité d'installation.

Cet article a pour but de proposer plusieurs scénarios accompagnés de recommandations concernant le déploiement de réseaux sans fil très haut débit à 60 GHz, en prenant en compte les résultats issus des études du canal de propagation. Ces études constituent une étape essentielle pour le dimensionnement correct de réseaux performants en terme de débit, de qualité de service, de couverture et de facilité d'usage.

2. Les réseaux locaux haut débit

Un réseau domestique assure l'interconnexion d'équipements hétérogènes : des équipements ménagers, informatiques (PC, imprimantes, autres périphériques) ou multimédia (lecteurs DVD/CD, chaîne Hi-Fi, enceintes, TV...). Au sein d'un réseau, ces équipements pourront échanger des informations de différentes natures (données de contrôle, données audio, vidéo et autre). Chaque équipement ne possède donc pas les mêmes contraintes en terme de débit et de qualité de service. Le réseau doit pouvoir couvrir l'ensemble d'une maison et posséder des points d'accès vers les réseaux de communication extérieurs, comme les réseaux téléphoniques ou les réseaux de diffusion (DVB-S, DVB-T, DVB-C...).

¹ Réseau National de Recherche en Télécommunications

² Communications MilliMétriques en environnement INdoor DOMestique et Résidentiel

Plusieurs solutions ont déjà été développées ou sont en cours d'étude. Certaines utilisent un support filaire (courants porteurs, USB, IEEE 1394), d'autres développent l'idée de réseaux locaux sans fil (WLAN). Si les réseaux filaires permettent d'atteindre plus facilement de très hauts débits, les réseaux sans fil offrent un degré de mobilité supérieur. La Figure 1 présente une répartition des types de réseaux sans fil selon leur débit et la mobilité qu'ils permettent.

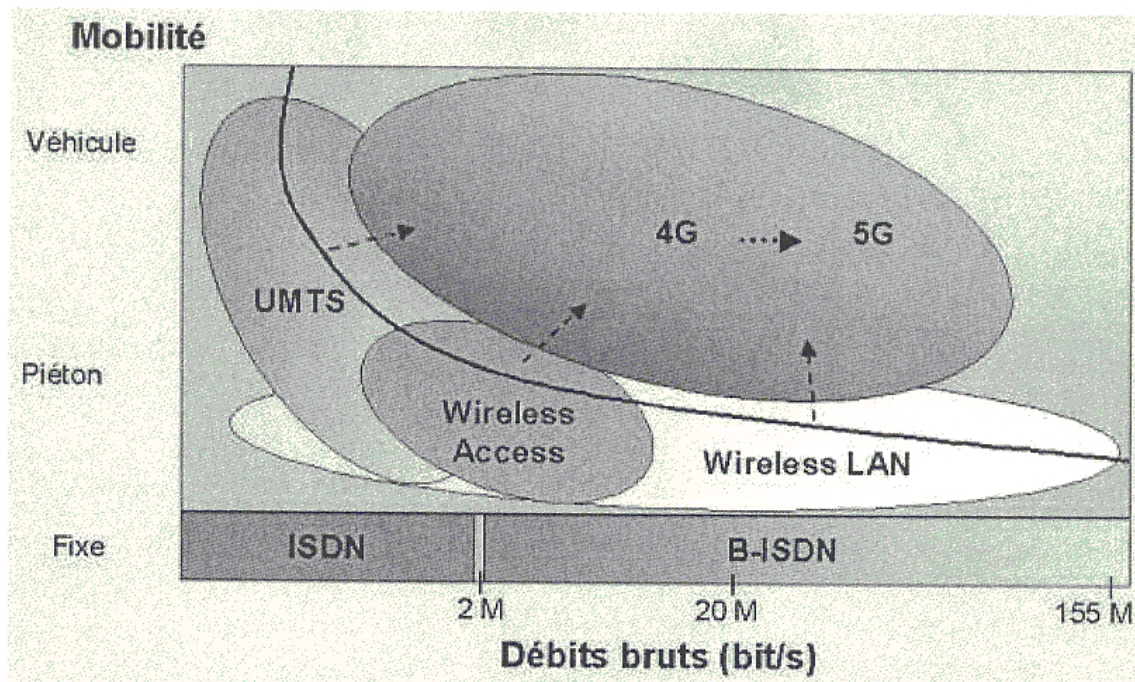


Figure 1. Les types de réseaux en fonction du débit et de la mobilité offerts

Les réseaux locaux sans fil occupent ou occuperont un éventail très large de débits possibles (d'une centaine de kbit/s à plusieurs centaines de Mbit/s).

On note actuellement la supériorité des réseaux filaires qui supportent des débits nettement plus élevés, grâce notamment au bus IEEE 1394. L'enjeu se situe donc dans la mise au point d'un réseau local polyvalent sans fil permettant d'atteindre la barrière des 100 Mbit/s, c'est-à-dire une alternative au bus filaire 1394 (« Wireless 1394 »). C'est dans ce cadre que s'inscrivent les recherches menées sur la conception de systèmes dans la bande des 60 GHz.

Les spécificités de l'application visée sont celles inhérentes au marché grand public, entre autres le coût et la facilité d'usage sont essentiels. Plus précisément, ces contraintes sont :

- coût minimal ;
- consommation faible ;
- robustesse et compacité ;
- installation simple autorisant un déploiement rapide et configuration transparente pour l'utilisateur ;
- adaptation au nombre d'éléments (ajout/retrait) et au niveau "d'intelligence" des équipements ;
- support de plusieurs types de service avec différents niveaux de qualité de service.

On retrouve dans ces contraintes l'idée des réseaux ad-hoc, pour lesquels la notion d'auto-configuration est primordiale.

Plusieurs topologies de réseau peuvent être envisagées, selon la façon dont on décide de coupler les solutions sans fil et câblées. Le réseau global (couvrant l'ensemble d'une maison), pourra au besoin être subdivisé en plusieurs sous-réseaux. Le réseau pourra par ailleurs être centralisé ou distribué.

Par ordre de complexité, voici trois configurations envisageables :

A - Extension sans fil

Le réseau se compose d'un réseau filaire central auquel des équipements sont connectés par liaison sans fil. Toute connexion passe nécessairement par le bus filaire (Figure 2).

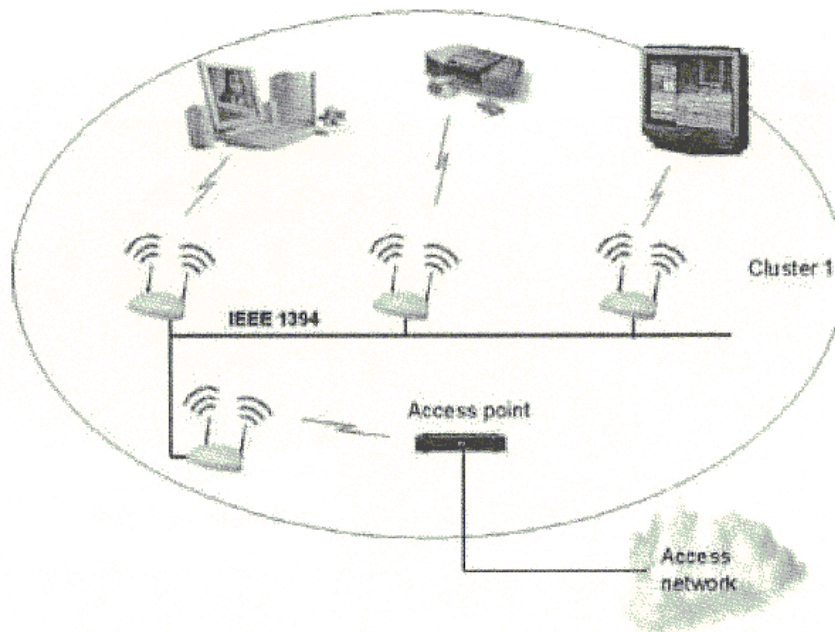


Figure 2. Extension sans fil

On pourrait imaginer qu'à l'avenir un tel réseau filaire central serait installé presque systématiquement dans les nouvelles maisons. Des points d'accès sans fil seraient disponibles dans les principales pièces. Ainsi, tout appareil pourrait communiquer avec un autre, quelle que soit la pièce où il se trouve. Dans un tel cas, le réseau est global et centralisé. Une restriction sévère est tout de même à noter : si les liaisons filaires permettent de très hauts débits (ex : IEEE 1394 de 200 à 800 Mbit/s), elles ont des restrictions sur la longueur des câbles.

B- Pont sans fil

Si le scénario précédent n'est pas envisageable à cause de restrictions sur la longueur des câbles, il conviendrait de subdiviser le réseau global en sous-réseaux. Chaque sous-réseau serait soit entièrement filaire, soit du type 1. Des ponts sans fil les relieraient ensemble. Le point dur de cette configuration est le passage entre deux réseaux filaires disjoints non synchronisés (Figure 3).

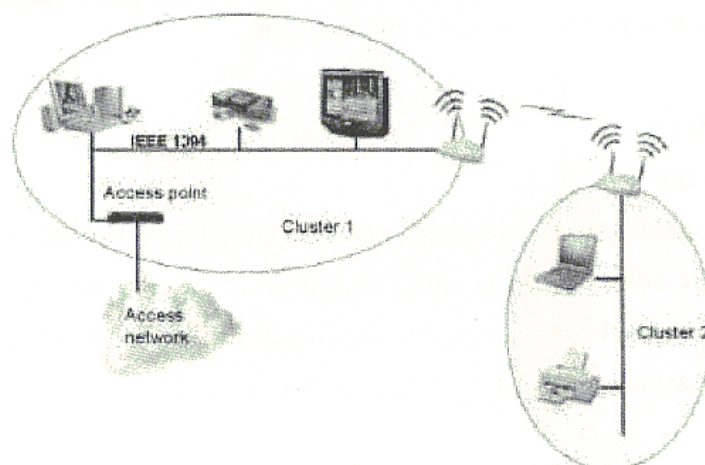


Figure 3. Pont sans fil

C- Réseau sans fil

Enfin, on peut envisager un réseau entièrement sans fil. Dans ce cas, à la fois les communications entre sous-réseaux et entre équipements se font uniquement sans fil. Chaque sous-réseau peut être centralisé ou distribué. Au niveau global, le réseau est distribué (Figure 4).

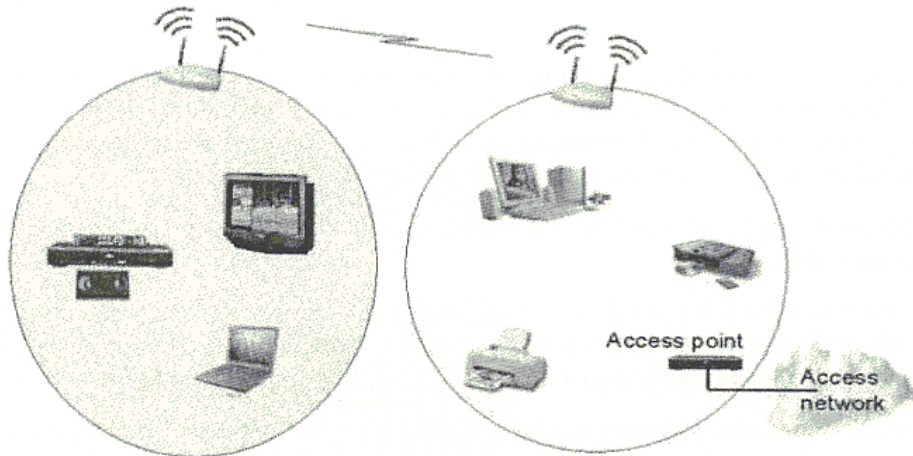
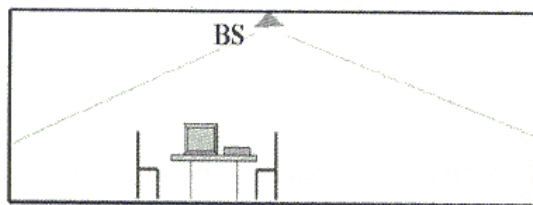
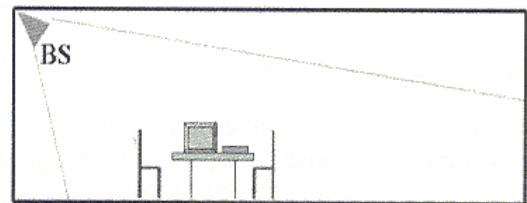


Figure 4. Réseau sans fil

Un réseau centralisé suppose que tous les échanges d'informations entre terminaux passent par un même point, que l'on appellera "station de base" (BS). Un équipement que l'on souhaite ajouter au réseau doit pouvoir établir une communication avec la station de base pour pouvoir être inclus au réseau. L'emplacement de cette station de base est alors un point crucial dans le déploiement du réseau. Deux types d'emplacement peuvent être envisagés : au plafond et au centre d'une pièce (Figure 5.a) ou bien dans un angle près du plafond (Figure 5.b).



a) Station de base au centre



b) Station de base dans un coin

Figure 5. Emplacement de la station de base

Dans le premier cas, l'antenne utilisée devra avoir un diagramme de rayonnement large afin de maximiser la couverture. Dans le deuxième cas, l'antenne pourra être plus sectorielle (ouverture à -3 dB inférieure ou égale à 90°) et donc apporter un meilleur gain sur la liaison. Le premier cas permet d'optimiser la distance entre la station de base et un appareil situé dans la pièce en question. Le deuxième a l'avantage de présenter une installation plus facile et plus discrète.

Dans le cas d'un réseau distribué, les transmissions pourront circuler directement d'un équipement à l'autre. Ce cas de figure est plus proche de l'organisation des réseaux ad-hoc. Lors de l'ajout d'un appareil dans l'environnement du réseau, cet appareil repère automatiquement les autres points du réseau avec lesquels il peut communiquer.

Les recherches menées sur la caractérisation de la propagation dans le cadre de COMMINDOR ont pour but de tester la faisabilité de cette dernière configuration, celle d'un réseau complet sans fil. Une des questions principales est de savoir si des sous-réseaux couvrant plusieurs pièces sont envisageables. Les deux structures, centralisée et distribuée, ont été étudiées lors des campagnes de mesure menées par l'IETR. Pour la structure centralisée, la station de base était placée dans le coin des pièces des environnements.

3. Difficultés liées à la propagation

Les mesures ont été effectuées dans une bande de 500 MHz avec un sondeur de canal basé sur la technique de la corrélation glissante développé à l'IETR [GUILLOUARD et al. 98]. Il permet de mesurer la réponse impulsionnelle du canal avec une résolution de 2.3 ns. La fenêtre d'observation des réponses est réglable entre 0 et 1 μ s. Comme le facteur de glissement du sondeur est également ajustable, ce sondeur permet la mesure de variations Doppler jusqu'à plusieurs kHz.

Les campagnes ont été conduites dans deux maisons, l'une pouvant être considérée comme un milieu résidentiel (européen) typique, l'autre atypique (il s'agissait d'un Centre de Loisir pour Enfants, *CLE*). Lors de ces campagnes, l'étude a porté plus particulièrement sur l'estimation des directions d'arrivée des ondes, l'influence de l'ouverture des antennes, celle du mobilier, ainsi que celle du mouvement des personnes dans le canal.

Pour les deux environnements, les mesures ont principalement été effectuées au rez-de-chaussée. Des mesures inter-étages ont également été menées.

La majorité des mesures a été effectuée dans l'optique d'un réseau centralisé. L'antenne utilisée en émission est un patch (gain de 4.3 dB et une ouverture à -3 dB de 60°). Elle est placée dans un coin de la pièce principale de la maison, à une hauteur proche du plafond (2.3 m à 2.5 m) et légèrement pointée vers le sol.

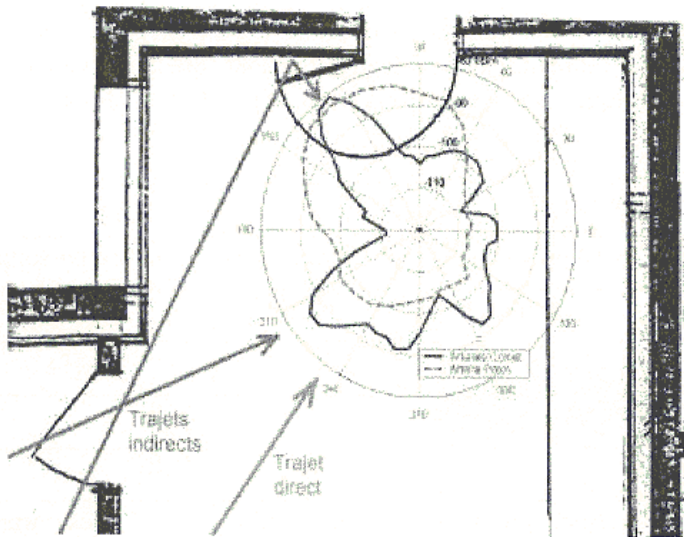
Pour chaque position d'émission, plusieurs positions de réception sont définies. En chaque position, les deux types d'antennes, un cornet (gain de 22.4 dB et une ouverture de 12°) et un patch (gain de 2.2 dB et une ouverture de 60°), sont utilisés successivement. La hauteur de l'antenne de réception est choisie à 1.20 m, ce qui correspond approximativement à celle d'un ordinateur posé sur une table.

Pour les mesures en milieu résidentiel, l'antenne de réception a un angle d'élévation nul. Une analyse des directions d'arrivée des trajets est effectuée en faisant tourner l'antenne sur 360°, grâce au positionneur motorisé. Le pas de rotation dépend de l'antenne : 6° pour le cornet (soit 60 points de mesure) et 12° pour le patch (30 points de mesures). De manière à s'affranchir des variations à petite échelle du canal, cette rotation est répétée le long d'un tronçon linéaire de 10 λ par pas de λ . Une méthode très semblable est utilisée dans [XU et al. 2002].

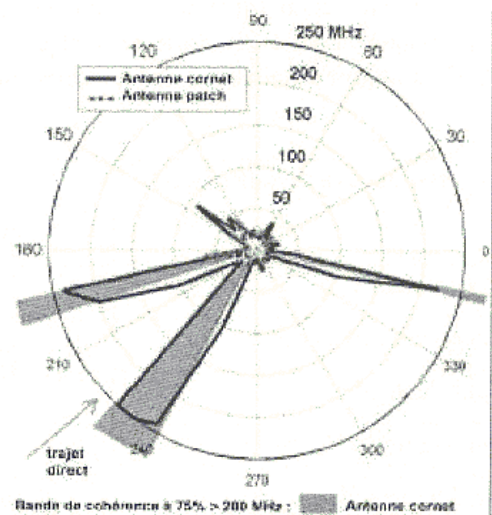
1.1. Propagation entre pièces

Si la propagation en visibilité ne pose pas de problèmes particuliers, il n'en est pas de même en non-visibilité, et plus particulièrement quand l'émetteur et le récepteur se trouvent dans des pièces différentes. À 60 GHz, l'atténuation provoquée par la traversée d'obstacles tels que les murs est très forte. Nos mesures ont montré qu'un mur de parpaing de 23 cm d'épaisseur provoquait environ 60 dB d'atténuation, une porte en bois aggloméré de 4 cm, 15 dB (voir aussi [CORREIA & FRANCES 94]).

La propagation des ondes entre les différentes pièces d'une maison s'annonce donc difficile. L'analyse des angles d'arrivée permet de mieux comprendre la propagation en non-visibilité. En superposant les diagrammes polaires de la puissance reçue avec le plan de l'environnement, on constate clairement l'importance du rôle des ouvertures (Figure 6). Les directions d'arrivée pour lesquelles la puissance reçue est plus forte correspondent à des trajets d'ondes passant par la porte séparant la pièce où se situe l'émetteur de celle où le récepteur a été placé. Ce rôle des ouvertures est également mis en lumière par la comparaison de mesures effectuées porte ouverte et porte fermée pour plusieurs positions de mesure. L'écart moyen entre les deux cas vaut entre 8 et 10 dB. Concernant la direction d'arrivée privilégiée, on note une atténuation supplémentaire de 11.8 dB en moyenne (écart-type 1.8 dB).



a) Distribution radiale de la puissance reçue



b) Distribution radiale de la bande de cohérence

Figure 6. Résultats de mesure en l'absence de visibilité

1.2. Activité humaine

À 60 GHz, le corps humain est un obstacle important pour la propagation des ondes. Peu d'études basées sur des mesures ont été publiées à ce sujet dans cette bande de fréquence [SATO & MANABE 98]. Il s'agit pourtant d'un problème majeur pour la qualité des liaisons envisagées dans les applications à très haut débit. Des mesures ont donc été menées pour caractériser ces phénomènes de masquage.

Pour déterminer le taux d'indisponibilité du canal, des longs enregistrements ont été effectués en présence de une à dix personnes. L'activité de ces personnes est « naturelle » (non contrainte pour les besoins de la mesure). La durée des enregistrements est de 40 min. Un extrait d'enregistrement pour un cornet en réception est présenté à la Figure 7.

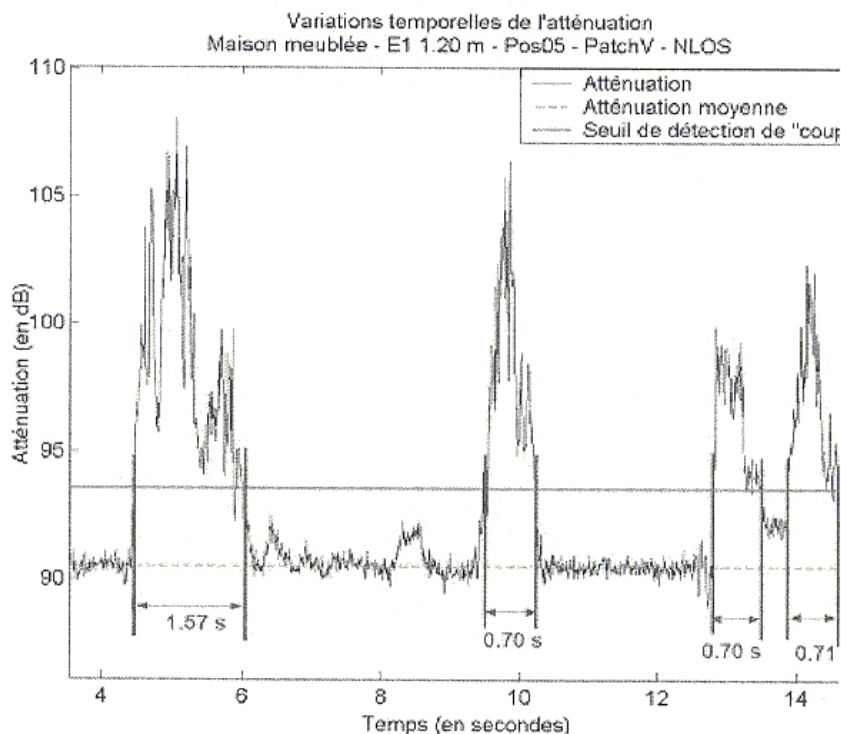


Figure 7. Évolution temporelle de l'atténuation

On peut y voir de pics de l'atténuation, correspondant aux moments de passage entre les antennes. Ces pics d'atténuation ont une durée très longue (centaines de ms) comparée à celle des symboles numériques transmis sur une

liaison très haut débit (dizaines de ns). De plus l'amplitude de ces pics est importante (15-20 dB). La qualité des liaisons risque donc d'être fortement affectée par l'activité humaine. Le Tableau 1 présente quelques valeurs clés issues du traitement statistique des mesures sur les caractéristiques des obstructions [COLLONGE et al. 2004].

Caractéristiques des obstructions	Patch - Cornet		Patch - Patch	
	1-5 personnes	6-10 personnes	1-5 personnes	6-10 personnes
Durée médiane	300 ms	350 ms	300 ms	350 ms
90 ^e percentile de la durée	2 s	4 s	2 s	4 s
Amplitude médiane	20 dB		12 dB	
90 ^e percentile de l'amplitude	25 dB		18 dB	
Taux d'apparition médian	1 obs. / min	2 obs. / min	1 obs. / min	2 obs. / min
95 ^e percentile du taux d'apparition	4 obs. / min	5 obs. / min	4 obs. / min	5 obs. / min

Tableau 1. Caractéristiques des obstructions causées par les personnes présentes dans l'environnement

2. Propositions d'architectures

Les résultats précédents montrent que deux particularités de la propagation à 60 GHz s'avèrent problématiques pour les performances d'un réseau domestique très haut débit : le phénomène de masquage par des personnes se déplaçant et les conditions difficiles de propagation sur les liens inter-pièces.

On peut considérer que le canal n'est plus disponible durant la durée d'un phénomène d'obstruction. Le transfert de données est donc interrompu. S'il n'y a pas de contrainte de temps réel sur le transfert, une solution simple consiste à émettre à nouveau les données qui n'ont pas pu être transmises, une fois que le canal est à nouveau disponible. Cependant, quand il y a une contrainte de temps réel, ceci n'est plus envisageable.

Concernant le problème des liens en non-visibilité, il a été noté que l'utilisation d'une antenne directive en réception était intéressante pour le gain en puissance et la réduction de la sélectivité fréquentielle qu'elle permet. Mais ces avantages ne sont atteints qu'à condition d'assurer un pointage dans une direction appropriée. Ce pointage n'a rien d'intuitif, car tout dépend de la configuration géométrique de l'environnement et de l'emplacement des antennes.

Il est donc nécessaire d'apporter des solutions adaptées afin de garantir la faisabilité de tels réseaux. Nous en évoquerons quelques-unes, par ordre de complexité.

2.1. Liens en visibilité

Pour simplifier les problèmes, il peut être décidé de se contenter de liens en visibilité directe. Afin de limiter les obstructions par les personnes, le choix d'un réseau centralisé, utilisant une station de base placée de préférence au centre et au plafond de la pièce est une bonne option. La hauteur de la station de base permet de réduire en partie les zones de masquage, comme l'ont souligné nos mesures. Les appareils reliés au réseau pourront être équipés d'antennes plus ou moins directives pointées vers la station de base. Si ces antennes sont peu directives, un pointage manuel (du ressort de l'utilisateur) peut être envisagé. Pour une directivité plus importante, il devient nécessaire d'envisager un pointage automatique, au moyen d'antennes intelligentes. Dans cette configuration, seule la contribution du trajet direct est recherchée et des modulations classiques pourront être utilisées. Ce type de disposition a été proposé notamment dans [TAKIMOTO & INOUE 94] dans un contexte de bureaux. Cette solution ne permet pas de s'affranchir complètement des problèmes d'obstruction. Par ailleurs, laisser à l'utilisateur le soin de pointer l'antenne des équipements diminue fortement le confort d'usage.

2.2. Diversité angulaire

Comme les mesures l'ont montré, le canal de propagation présente une diversité d'angles d'arrivée, à la fois en situation de visibilité et de non-visibilité. Il peut donc être intéressant d'essayer de tirer parti de cette diversité. Ainsi,

si un trajet d'onde est obstrué par une personne se déplaçant dans le canal, la possibilité qu'un trajet arrive par une autre direction existe et peut permettre de maintenir la liaison (Figure 8).

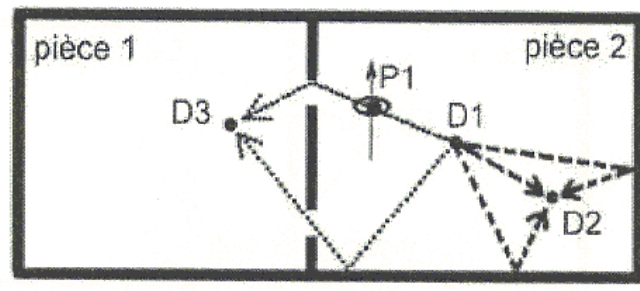


Figure 8. Diversité angulaire pour des liaisons LOS et NLOS. D# : dispositif, P# : personne. L'un des dispositifs peut être la station de base dans un réseau centralisé

Ceci implique la mise en œuvre de systèmes plus complexes. On peut alors distinguer deux approches. La première consiste à utiliser plusieurs antennes à ouverture plus ou moins directive. Ces antennes sont organisées de façon à couvrir 360° dans le plan azimutal. Il pourra être également intéressant d'ajouter une couverture dans le plan de l'élévation. Un traitement avec sélection de l'antenne permettant la meilleure liaison est alors effectué. Un avantage de cette solution est de permettre un gain de liaison dans toutes les directions. Elle permet aussi de limiter la sélectivité du canal, et donc de simplifier le traitement en aval. Des modulations classiques pourront sans doute être utilisées dans ce cas.

La deuxième approche tenterait de traiter la diversité de trajets au moyen de récepteurs appropriés équipés d'antennes omnidirectionnelles (RAKE, OFDM...). Cette dernière approche permet de simplifier la réalisation de l'aspect « antenne » et déplace la complexité sur l'aspect « système ».

Ces solutions permettraient d'envisager des liens entre pièces adjacentes, et de contrer correctement les effets de masquage par les déplacements de personnes. On peut espérer couvrir ainsi l'ensemble d'un étage d'une maison. Dans cette configuration, il est important qu'il existe une densité importante de trajets, afin de garantir la diversité angulaire.

Le réseau pourra être centralisé ou distribué. S'il est centralisé, l'emplacement de la station de base devra être optimisé selon la zone de couverture désirée. Pour étendre la couverture du réseau à l'ensemble d'une maison, il pourra être nécessaire de diviser le réseau en sous-réseaux, en particulier pour les transmissions entre des équipements séparés d'un étage. L'utilisation d'un relais placé judicieusement pourrait permettre le transit des communications entre deux stations de base (dans le cas de sous-réseaux centralisés) ou de deux appareils appartenant à deux sous-réseaux différents (dans le cas de sous-réseaux distribués).

2.3. Diversité de site

Dans la continuité de la solution précédente, on peut chercher à renforcer encore la diversité des chemins possibles pour établir un lien entre deux équipements. Ceci pourrait se faire en donnant la possibilité pour un équipement du réseau d'en utiliser un autre comme point de relais. Les liaisons multi-pièces en seraient encore facilitées, et les problèmes de masquage encore réduits. Dans l'exemple de la Figure 9, l'équipement 1 (D1) peut établir une liaison avec l'équipement 3 (D3) situé dans une pièce adjacente en utilisant l'équipement 2 (D2) comme relais. Les liaisons D1-D2 et D2-D3 se font en visibilité directe. Si l'une de ces liaisons est coupée par le passage d'une personne, il est possible de maintenir la communication en utilisant le trajet réfléchi passant par l'autre porte séparant les deux pièces.

Il est à noter que ces avantages supplémentaires sont directement dépendants du nombre de points du réseau. Plus grand sera le nombre d'équipements du réseau, plus importantes seront les possibilités de relayer les communications.

De plus, cette configuration permet potentiellement de réduire les puissances d'émission, puisque les distances de propagation seraient raccourcies. De plus, selon l'emplacement des équipements, des liens entre étages pourront être possibles, à condition de traiter les angles d'arrivée en élévation. La contrepartie réside évidemment dans l'accroissement de la complexité, qui dépasse alors peut-être le cadre d'applications bas-coût grand public. Chaque

appareil devrait pouvoir établir une liaison, tout en offrant la possibilité de servir de relais pour une autre communication au sein du réseau. Une telle solution se conçoit plutôt dans l'optique d'un réseau distribué.

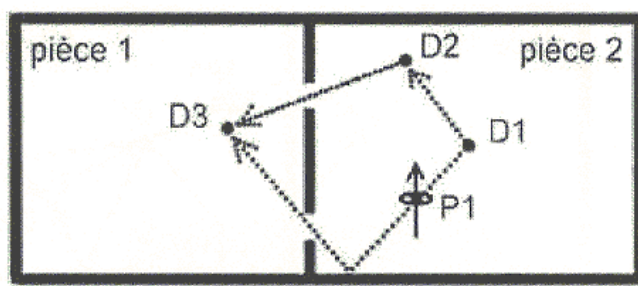


Figure 9. Diversité angulaire et de site pour des liaisons NLOS. D# : dispositif, P# : personne

3. Conclusion

Ce papier a présenté plusieurs scénarios de déploiement pour des réseaux très haut débit à 60 GHz dans le cadre d'applications domestiques sans fil. Ces scénarios sont basés sur les résultats des études de propagation menées par l'IETR dans le cadre du projet RNRT COMMINDOR. Ces études ont mis en évidence deux problèmes majeurs : l'obstruction causée par les personnes se déplaçant dans l'environnement, et la difficulté d'assurer des liaisons entre des pièces adjacentes. Au vu de ces résultats, des solutions sont proposées pour garantir la faisabilité de liaisons entre pièces, sans coupures causées par l'activité humaine. Il s'agit de tirer parti de la diversité angulaire du canal, en développant des traitements d'antennes adéquats. L'utilisation supplémentaire d'une diversité de site est également une piste à explorer pour améliorer les performances globales du réseau.

Il est à noter que ces réflexions, portant sur le milieu domestique, peuvent être également intéressantes dans d'autres contextes, par exemple médical (en milieu hospitalier, avec bien entendu des contraintes spécifiques, ou dans le cadre des applications de type « maison médicalisée »).

Par ailleurs, la validation technique de ces futurs systèmes doit aussi passer par l'analyse des effets des ondes millimétriques sur le corps humain.

Pour finir, il est important de souligner que les propositions techniques apportées dans cet article sont principalement le travail de chercheurs en télécommunication. Des réflexions sur les usages et besoins, menées avec les destinataires de ces réseaux (résidents pour le contexte domestique, usagers et personnels dans le contexte médical) seraient riches de perspectives. En effet, il devient de plus en plus nécessaire que les solutions techniques, dont la complexité s'accroît toujours plus, s'adaptent aux usagers et aux besoins et non l'inverse.

4. Bibliographie

- [FLAMENT et al. 98] FLAMENT M., GESSLER F., LAGERGREN F., QUESETH O., STRIDTH R., UNBEHAUN M., WU J., ZANDER J., "An approach to 4th generation wireless infrastructures - Scenarios and key research issues", *Personal Computing & Communication Workshop 98*, Stockholm, Sweden, November 1998.
- [OHMORI et al. 2000] OHMORI S., YAMAO Y., NAKAJIMA N., "The Future Generations of Mobile Communications Based on Broadband Access Technologies", *IEEE Communications Magazine*, December 2000, pp. 134-142.
- [MEINEL 95] MEINEL H. H., "Recent advances on millimeter wave PCN system development in Europe", *IEEE MTT-S Digest*, 1995, pp. 401-404.
- [TAKIMOTO 95] TAKIMOTO Y., "Recent activities on millimeter wave indoor LAN system development in Japan », *IEEE MTT-S Digest*, 1995, pp. 405-408.
- [COLLONGE et al. 2003] COLLONGE S., ZAHARIA G., EL ZEIN G., "Wideband and Dynamic Characterization of the 60 GHz Indoor Radio Propagation – Future Home WLAN Architectures", *Annals of Telecommunications*, vol. 58, n°3-4, March/April 2003, pp. 417-447.

- [GUILLOUARD et al. 98] GUILLOUARD S., EL ZEIN G., CITERNE J., "High Time Domain Resolution Indoor Channel Sounder for the 60 GHz Band", *Proceedings of The 28th European Microwave Conference (EMC '98)*, Amsterdam, The Netherlands, vol.2, October 1998, pp. 341-344.
- [XU et al. 2002] XU H., KUKSHYA V., RAPPAPORT T. "Spatial and Temporal Characterization of 60 GHz Indoor Channels", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 20, no. 3, April 2002, pp. 620-630.
- [CORREIA & FRANCES 94] CORREIA L.M., FRANCES P.O., "Estimation of materials characteristics from power measurements at 60 GHz", *5th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 2, 1994, pp. 510-513
- [SATO & MANABE 98] SATO K., MANABE T., "Estimation of propagation-path visibility for indoor wireless LAN systems under shadowing condition by human bodies", *IEEE Vehicular Technology Conference*, Ottawa, vol. 3, 1998, pp. 2109-2113.
- [COLLONGE et al. 2004] Collonge S., Zaharia G., El Zein G., "Influence of the Human Activity on Wideband Characteristics of the 60 GHz Indoor Radio Channel", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, à paraître.
- [TAKIMOTO & INOUE 94] TAKIMOTO Y. INOUE A., "Minimum delay-spread millimeter wave indoor LAN system", *SPIE Proceedings*, San Diego, USA, vol. 2211, January 1994, pp. 278-281.

5. Références sur le WEB.

- [COMMINDOR 99] Partenaires COMMINDOR « Proposition de projet RNRT : COMMINDOR », *Projet labellisé en 1999, soumis au RNRT le 06/05/1999*, http://www.telecom.gouv.fr/rnrt/projets/\res_d109_ap99.htm